

**Versuche zur Vereinfachung der homologen
Semilunarklappentransplantation beim Hund
mit Hilfe eines prothetischen Metallrahmens**

Helge Bähren

1965

Aus der Chirurgischen Klinik der Universität Frankfurt am Main

Direktor : Professor Dr. Geißendörfer

VERSUCHE ZUR VEREINFACHUNG DER HOMOLOGEN
SEMILUNARKLAPPENTRANSPLANTATION BEIM HUND
MIT HILFE EINES PROTHETISCHEN METALLRAHMENS

Inaugural -Dissertation

zur Erlangung der zahnärztlichen Doktorwürde

der Hohen Medizinischen Fakultät

der Johann Wolfgang Goethe-Universität

zu Frankfurt am Main

vorgelegt von

Helge Bähren

aus Hamburg

1965

Dekan ; Professor Dr. H. Frick

Referent ; Priv.-Doz. Dr. H. Hirsch

Korreferent ; Professor Dr. M. Kuck

Tag der mündlichen Prüfung : 24. August 1965



Inhaltsverzeichnis

- I) Einleitung
- II) Experimentelles
- III) Sterilisation der homologen Aortenklappen
- IV) Experimente zur Implantation
- V) Druckmessung über der Pulmonalklappe
- VI) Herstellung von Ausgußpräparaten des Aortenkonus
- VII) Beschreibung der Anfertigung der verschiedenen
prothetischen Rahmen
- VIII) Erfahrungen bei der Implantation der aufgespannten
Aortenklappe an die pulmonale Position
- IX) Diskussion
- X) Zusammenfassung
- XI) Literaturverzeichnis



Digitized by the Internet Archive
in 2026

1) Einleitung.

Bei angeborenen und bei erworbenen Aortenfehlern führen destruktive Verkalkungen häufig zu hochgradigen Funktionsstörungen im Sinne einer Aortenstenose oder Aorteninsuffizienz resp. einer Kombination beider Funktionsstörungen. Bei solchen Veränderungen bleibt als einzige Behandlungsmöglichkeit die Ausschneidung des veränderten Klappengewebes und der Herzklappenersatz.

Zwei Wege sind für den operativen Herzklappenersatz in den letzten Jahren beschritten worden. Hufnagel, Starr, Lillehei, Magovern und andere haben Herzklappenprothesen aus Kunststoffen konstruiert, von denen die Starr-Klappe, typmäßig ein technischen Ventilen vergleichbares Kugelventil, in den letzten Jahren größere praktische Bedeutung gewonnen hat. Andere Autoren haben die homologe Transplantation der Aortenklappe versucht, wie zum Beispiel Lam und Murray. Bemerkenswert sind die Ergebnisse von Barret-Boyes, der mit geringer Sterblichkeit und guten funktionellen Ergebnissen bei über fünfzig Patienten homologe Aortenklappentransplantationen durchgeführt hat.

Ähnliche Ergebnisse beschreibt D. Ross. Er hat nach einer Technik von Gunning, die der von Barret-Boyes beschriebenen Transplantationstechnik sehr ähnlich ist, die homologe Aortenklappentransplantation am Menschen ausgeführt. Seine Ergebnisse berechtigen ebenfalls zu großen Hoffnungen. Untersuchungen von Hirsch und Hanke über das Schicksal von transplantiertem homologen Aortenklappengewebe sprechen dafür, daß die homologen Klappensegel nach 9 bis 12 Monaten durch körpereigene Gewebsstrukturen des Wirtsorganismus nachgebildet werden.

Die Verwendung von Kunststoffen zum Ersatz von Gewebsstrukturen hat in der Regel erhebliche Nachteile aufzuweisen. Grundsätzlich würde daher eine homologe Transplantation immer vorzuziehen sein, wenn sie gleichwertige funktionelle Ergebnisse liefert. Das gilt besonders für den Ersatz von Herzklappen. Um nun die Frage nach dem funktionellen Ergebnis abzuklären, sind zahlreiche Versuche erforderlich.

Für die Tierversuche in der Herzchirurgie wird aus vielerlei Gründen in erster Linie der Hund als Versuchstier benutzt, obgleich er keineswegs ein be-

sonders günstiges Versuchsobjekt darstellt, für diese Zwecke. Er verträgt den extrakorporalen Kreislauf sehr schlecht, viel schlechter als der Mensch. Für die Versuche am Hund ist es daher von größter Bedeutung, daß die Zeit des extrakorporalen Kreislaufs mit der Herzlungenmaschine bei der Klappenimplantation möglichst kurz gehalten wird.

Der Zeitaufwand für die homologe Transplantation der Semilunarklappen ist erheblich. Beim Menschen dauert allein das Einnähen der homologen Klappe 60 bis 80 Minuten. Beim Hund sind die Schwierigkeiten auf Grund der kleineren anatomischen Verhältnisse eher noch größer und somit die Operationszeiten länger.

Will man beobachten, wie sich die homologe Semilunarklappe im Versuchstier verhält, muß die Versuchsanordnung so gewählt werden, daß das Tier die Operation möglichst lange überlebt. Leider ist es unendlich schwer, die Aortenklappe beim Hund an die natürliche Position zu übertragen. Die Tiere sterben am EKK. Aber man kann die homologe Aortenklappe des Hundes auf die pulmonale Position übertragen. Diese Operation ist technisch bedeutend einfacher. Sie erfordert keine Koronarperfusion oder besondere Schutzmaßnahmen des Myokards. Die rechte Ausflußbahn und die Pulmonalklappe sind besser erreichbar. Postoperative Komplikationen sind im Niederdruckgebiet geringer. Die Operation kann in etwa 40 Minuten durchgeführt werden. Transplantationsimmunologische Fragen, die Resorption des homologen Gewebes, der narbige Gewebeersatz und der Einfluß dieser Umbauvorgänge auf die Funktion lassen sich auch mit Hilfe dieser Versuchsanordnung klären.

Das Bestreben, die Übertragung der homologen Aortenklappe auf die pulmonale Position weiter zu beschleunigen, führte zu der Überlegung, die Klappe zeitlich unabhängig von der Transplantation in einen Rahmen einzunähen und diesen später mit wenigen Nähten an der Pulmonalklappenposition zu befestigen. Über die Versuche, einen solchen prothetischen Rahmen für die homologe Aortenklappe herzustellen, soll hier berichtet werden.

II) Experimentelles.

1) Material.

In der Zahnheilkunde ist die Gewebsverträglichkeit der Materialien eine wesentliche Voraussetzung für das reizlose Inkorporieren des Zahnersatzes. Daher lag es nahe, für die Herstellung des prothetischen Rahmens solche Kunststoffe und korrosionsfeste Metallegierungen zu verwenden, die aus der Zahnheilkunde als gewebsfreundlich bekannt und erprobt sind.

a) Kunststoffe.

Es wurden Dentalkunststoffe — Autopolymerisate und Wärmopolymerisate — ohne Farbzusätze verwendet, mit der Methakrylsäure $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\cdot\text{COOH}$ als Grundmolekül. Dieses Grundmolekül (das Monomer) hat eine reaktionsfähige Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen und polymerisiert daher. Das Monomer ist eine stechend riechende, farblose Flüssigkeit, brennbar und leicht verdunstend. Siedepunkt: $100,3^\circ\text{C}$, Molekulargewicht: 100, Polymerisationswärme: 13 Kal/Mol (Schmidt).

Das Polymer sind die Makromoleküle, die aus dem Monomer durch Polymerisation entstehen. Das Polymer hat die gleiche stöchiometrische Zusammensetzung wie das Monomer (Knischewski).

Zur Verarbeitung werden das Monomer und ein sogenanntes Perl- oder Splitterpolymerisat zusammengegeben, zu einem Teig angerührt und in die gewünschte Form gepresst. Die Autoakrylate polymerisieren und erhärten auf Grund ihres je nach Herstellerfirma verschiedenen chemischen Katalysators dann von selbst. Die Polymerisation ist ein exogener Vorgang, bei dem Temperaturen bis zu 80°C entwickelt werden. Da die Autopolymerisate im erhärteten Zustand noch ständig das sogenannte Restmonomer abgeben, und zwar bis zu 2%, scheiden sie für die Transplantationszwecke selbst aus. Dagegen eignen sie sich gut zum Ausgießen des Aortenkonus, wie es unten näher beschrieben wird.

Die Wärmopolymerisate müssen im Wasser oder besser in einem Heißluftpolymerisationsgerät "gekocht" werden. Hier ist der Polymerisationsvorgang endogen. Als Katalysator dient die zugeführte Wärme. Eine Langzeitpolymerisation von 24 Stunden bei 80°C ist wünschenswert. Die fer-

tigen Polymerisate geben dann nur noch Restmonomer in nicht mehr meßbaren Größen ab, so daß eine Gewebsreizung weitgehend ausgeschlossen wird. Nach der Polymerisation ist eine protrahierte Abkühlung unerlässlich, um Spannungsdifferenzen im Werkstück zu vermeiden.

b) Metalle.

Die Metallrahmen wurden aus einer Chrom-Kobalt-Molybdänlegierung gegossen. Die Chrom-Kobaltlegierungen enthalten kein Eisen. Sie sind also keine Edelstähle. Sie verhalten sich aber stahlähnlich (Knischewski). Etwa doppelt so viel Co wie Cr enthalten die Legierungen mit ungefähr 5 % Mo Zusatz. Das Mo macht die Legierung durch seinen hohen Schmelzpunkt feinkörniger und stabilisiert das Gefüge bei unterschiedlichen Gußbedingungen (Elbrecht). Aus dieser Legierung wird auch hochwertiger Zahnersatz gefertigt. Die Bearbeitungstechniken entsprechen den Methoden, die auch zur Herstellung von Zahnprothesen angewendet werden. Sie werden im Zusammenhang mit der Herstellung der fünf verschiedenen Rahmentypen beschrieben.

2) Gewinnung der homologen Aortenklappen.

Hundeherzen verschiedener Größe wurden im Zusammenhang mit anderen Versuchen aus getöteten Versuchstieren bei der Sektion entnommen. Durch vorsichtige Präparation wurde der Aortenkonus möglichst frei von anhängendem Muskelgewebe dargestellt. Das so gewonnene Präparat zeigt die Abbildung 1.

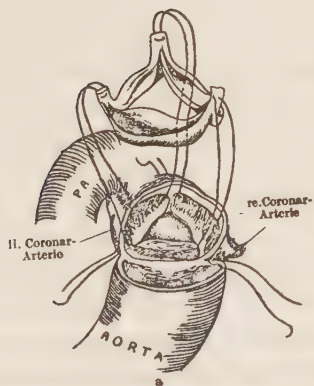
Für die Implantation wurden die Wände des Aortenkonus in den Sinus ausgeschnitten, so daß eine Art dreizackige "Krone" entstand, wie aus der Abbildung von Gunning ersichtlich ist. (Abb. 2)

Dies Präparat bestand nur noch aus dem Aortenklappenring, den drei stegförmigen Ansätzen der Kommissuren und den drei Taschenklappen. Nach der Sterilisation in Äthylenoxyd wurde es in die verschiedenen Rahmentypen eingenäht.

Abb. 1



Abb. 2



III) Sterilisation der homologen Aortenklappen.

Die homologen Aortenklappen wurden mit Äthylenoxyd sterilisiert. Zunächst wurde die von Ross benutzte Technik angewendet. Nach der Präparation des Konus (Abb. 1) wurden die Klappen bei normalem atmosphärischem Druck 24 Stunden mit Äthylenoxyd begast. Später wurde die Sterilisation mit einem Überdrucksterilisator der Firma Sterivit, Mainz, durchgeführt, in dem die Klappen 30 Minuten bei 2,5 Atü und 40° C sterilisiert wurden. Weder die erste noch die zweite Technik änderten die mechanische Beschaffenheit des Gewebes, soweit man es durch makroskopische Betrachtung und grobe mechanische Prüfung mit der Pinzette erkennen konnte.

IV) Experimente zur Implantation.

Für die Klappenimplantation wurden erwachsene Bastardhunde im Gewicht um 22 kg verwendet, mit Pentothal (25 - 30 mg/kg Gewicht) narkotisiert und anschließend endotracheal intubiert. Sie wurden durch Succinylcholin (Lystenon), das nach Bedarf intravenös zugeführt wurde und künstlich mit einem Sauerstoff-Luft-Gemisch (40 % O₂) aus dem Bird 8 Respirator beatmet. Die Tiere wurden in rechter Seitenlage aufgelegt, um die rechte Ausflußbahn des Herzens und die Pulmonalklappenregion besser zu exponieren. Die Thorakotomie wurde im 6. Intercostalraum ausgeführt und der Herzbeutel eröffnet. Für den Anschluß der Herzlungenmaschine wurde die rechte Arteria femoralis dargestellt und kanüliert. Zur Verhinderung der Blutgerinnung erhielten die Tiere drei mg Heparin/kg Gewicht intravenös. Der rechte Vorhof, eventuell auch die untere Hohlvene gesondert, wurden mit Plastikkathetern kanüliert und darauf die arterielle und die venöse Leine des extrakorporalen Kreislaufs angeschlossen.

Sobald die Kreislaufverhältnisse stabil waren und das rechte Herz leer erschien, wurden die Ausflußbahn des rechten Ventrikels inzidiert und die Pulmonalklappen dargestellt. Die Segel wurden exzidiert. Der Rahmen mit der daran befestigten homologen Aortenklappe wurde bis in die Pulmonalklappenebene vorgeschoben und mit 6 bis 8 Einzelnähten befestigt. Darauf wurde die Inzision des rechten Ventrikels wieder verschlossen und so bald wie möglich der extrakorporale Kreislauf beendet.

Nach der Implantation der Klappe wurde der Druckgradient über der Pulmonalklappe durch Druckmessung im rechten Ventrikel und in der arteria pulmonalis bestimmt. Eine Knopfkanüle wurde dazu in den kaudalen Wundwinkel der Ventrikulotomiewunde eingeführt und mit dem Direktschreiber Cardiopan mit Hilfe einer Druckmeßverstärkerbrücke und einem Statham-element zunächst die Kruckkurve des rechten Ventrikels registriert. Die Kanüle wurde darauf in die Pulmonalarterie vorgeschoben und hier ebenso eine Druckkurve geschrieben. Die Druckwerte für beide Positionen konnten später aus der Kurve entnommen werden.

VI) Herstellung von Ausgußpräparaten des Aortenkonus

Die prothetischen Rahmen mußten in ihren Größenverhältnissen den Aortenklappen, besonders dem Aortenring angepaßt sein, damit später eine homologe Aortenklappe ohne allzugroße Schwierigkeiten an diesem Rahmen befestigt werden konnte. Um die notwendigen Maße zu gewinnen, wurden daher Ausgußpräparate des Aortenkonus hergestellt, an denen die Größenverhältnisse eingehend studiert werden konnten. Für die Herstellung der Ausgußpräparate bewährte sich das Autoakrylat Palakos oder Paladur der Firma Kulzer, Bad Homburg. Hundeherzen von Tieren der entsprechenden Größe (um 22 kg) wurden aufrecht in ein Becherglas gestellt, welches soweit mit Wasser oder Kochsalzlösung gefüllt worden war, daß der Flüssigkeitsspiegel nach dem Eintauchen des Herzens etwa bis 1 cm unterhalb des Aortenklappenniveaus reichte. Den Herzen wurde auf diese Weise ein Teil ihres Gewichtes genommen, und sie fielen dadurch nicht sosehr zusammen. Die großen Blutgefäße waren etwa 6 cm oberhalb der Semilunarklappenebene abgetrennt worden. Die Aorta wurde jetzt aufgehalten und ein dickflüssig angerührter Palakosbrei in den Aortenkonus eingegossen, bis der Brei den freien Rand des durchtrennten Gefäßes erreichte. Bei dem Einfüllen schlossen sich die Aortenklappen regelmäßig. Der Brei blieb somit im Aortenkonus stehen und konnte hier polymerisieren. Sobald er anfang zu erhärten, wurde ein Stück Draht hineingesteckt, das fest einpolymerisierte. Nach etwa einer Stunde konnte man den Ausguß an diesem Draht herausziehen. Die Aortenklappen nahmen durch die Berührung mit dem Palakos keinen Schaden. Sie konnten für die homologe Transplantation weiter aufgearbeitet werden.

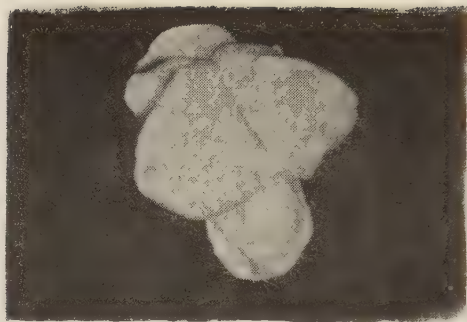


Abb. 3 Ausgußpräparat des Aortenkonus

VII) Beschreibung der Anfertigung der verschiedenen prothetischen Rahmen

Im Verlauf der Arbeit wurden 5 verschiedene Konstruktionen eines prothetischen Rahmens für die homologe Aortenklappentransplantation angefertigt. Sie sollen hier in chronologischer Reihenfolge beschrieben werden. Von der Form/her unterscheiden sich die 5 Konstruktionen nicht alle voneinander. Die ersten drei Rahmenkonstruktionen haben dieselbe Form, nämlich einen basalen Ring, an dem drei aufsteigende Drahtschlaufen befestigt worden sind. An diesen Schlaufen sollten die Teile der Aortenwand, die den Ansatzlinien der Taschenklappen entsprechen, befestigt, und an den basalen Ring der Aortenklappenring angenäht werden. Für die Implantation wurde diese Form eines Rahmens mit den drei Drahtschlaufen voran in die arteria pulmonalis hineingeschoben. Der basale Ring konnte dann wahlweise mit Nähten, unter Umständen sogar mit einer Tabaksbeutelnaht oder einer zirkulären Naht fixiert werden. Dem zweiten Typ gehörten die Konstruktionen 4 und 5 an. Hier sind die wichtigsten Elemente drei etwas ausladende Drahtschlaufen, über welche die Sinus der Aortenklappe aufgespannt werden. Bei der Konstruktion 4 laufen diese Drahtschlaufen zurück zu einem Metallring, der nicht mehr in der Höhe des Klappenringes bei der Implantation befestigt

werden soll, sondern in die Pulmonalarterie vorgeschoben wird und hier gewissermaßen die Arterie offenhalten kann. Die Schlaufen wurden dann mit mehreren Nähten im Gebiet der Ansatzstellen der Pulmonalklappen befestigt. Bei der Konstruktion 5 wurde der Ring schließlich ganz fortgelassen. Die drei Drahtschlaufen laufen nach einer Zurückführung von etwa 8 bis 10 mm sofort in die nächste Schlaufe hinein, so daß die Gestalt eines Krönchens entsteht. Auch diese letzte Konstruktion wurde genauso implantiert, wie die Konstruktion 4.

Für die Anfertigung der Konstruktion des ersten Typs waren folgende Maße notwendig :

1. Der Durchmesser des Aortenringes
2. Die Höhe der Ansatzlinien der Klappenregel.

Das erste Maß konnte nicht mit sicherer Genauigkeit an dem Palakosmodell ermittelt werden, weil die elastische Aortenwand bei einem leeren Gefäß zusammenschnurrt.

Wir haben daher bei den Versuchen Ringe von 12 und 15 mm Durchmesser hergestellt. Von diesen beiden Durchmessern war der Ring von 15 mm Durchmesser bei den meisten Tieren des angegebenen Gewichts (um 22 kg) im allgemeinen passend. Das zweite Maß konnte mit recht großer Zuverlässigkeit an den Palakosausgüssen festgestellt werden, weil die Längenmaße an der Aorta im Bereich des Aortenkonus kaum von der Schrumpfung betroffen werden. Die Höhe der Drahtschlaufen, die der Länge der Ansatzlinien der Taschenklappen entsprechen sollte, wurde mit 7 mm im Mittel festgestellt und so berücksichtigt.

Für die Anfertigung der Konstruktionen des zweiten Typs war besonders das Maß der "Bogenlänge" am Grunde der Sinus Valsalvae wichtig, wo die Taschenklappen während der Diastole von der Aortenwand weg in das freie Lumen der Aorta streben. Diese Länge gab das Ausmaß der Drahtschlaufen an, die für eine funktionsgerechte Spannung der Klappen von Bedeutung zu sein schienen. Gerade am Palakosmodell ließ sich die Länge der Drahtschlaufen besonders gut abmessen. - Die Drahtbögen dieser Rahmen wurden gewissermaßen "direkt nach Maß geschneidert".

Wurden die Rahmen darauf in die Aortenkonuspräparate hineingesteckt, so hielten sie die Aortenklappen durch die am Grunde der Sinus Valsalvae verlaufenden Drahtbögen in "physiologischer" Stellung aufgespannt, wie es Abbildung 4 zeigt.



Abb. 4

Konstruktion I/1

Der erste Versuch war ein aus Kunststoff und Stahldraht kombiniertes Gestell. Zu seiner Herstellung gingen wir folgendermaßen vor.

Aus zahntechnischem Modellwachs wurde ein Ring hergestellt, dessen lichter Durchmesser 12 mm, dessen Stärke 2 mm und dessen Höhe 6 mm betrug. Der Ring erhielt in der Mitte eine zirkuläre Auskehlung, die für das spätere Anlegen der Tabaksbeutelnaht gedacht war. Drei, aus federhartem, nicht rostendem, 0,6 mm starkem Stahldraht gebogene Schlaufen wurden in den Ring eingewachst. Sie ragten 7 mm über das Niveau des Ringes hinaus. Dieses Wachsmodell mußte nun in Kunststoff umgesetzt werden. Dazu betteten wir es in Modellgips in eine Metallküvettenhälfte so ein, daß die Drahtbögen völlig frei herausschauten.

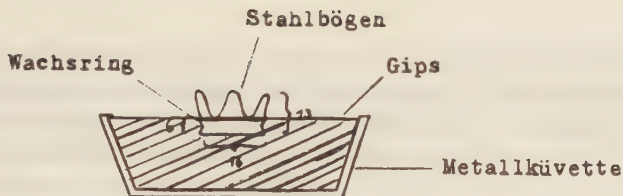


Abb. 5

Nach dem Abbinden des Gipses wurde die Gipsfläche isoliert und ein Konterguß hergestellt.

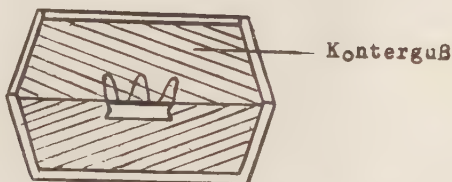


Abb. 6

In heißem Wasser wurde nun die Wachsform in der Kuvette erweicht und anschließend die Kuvette auseinandergenommen. In einem Teil befanden sich die Stahlbögen, im anderen der Wachsring, der völlig ausgebrüht wurde, so daß eine Hohlform entstand. Diese Form wurde mit einer dünnen Stellenschicht isoliert, um das Einlagern von Wasser aus dem Gips in den Kunststoff zu vermeiden. Der aus Monomer und Polymer angerührte Kunststoffteig, ein Methakrylsäuremethylester ohne Farbzusätze wurde nun in die erkaltete, isolierte Form hineingepreßt. Der zweite Kuvettenteil mit den Drahtschlaufen wurde wieder so darauf gesetzt, daß sich die Füßchen der Schlaufen in den weichen Kunststoff hineindrückten. Anschließend wurde im Heißluftschrank die unter ständigem Druck stehende Form bei 80°C 24 Stunden lang auspolymerisiert. Durch Zertrümmern der Form

bekam man das fertige Polymerisat frei. Es wurde von Gipsresten befreit, ausgearbeitet und hochglanzpoliert. Das Resultat war ein Ring aus glasklarem Kunststoff, in den die drei Stahlbögen fest einpolymerisiert waren. Um das Einwachsen von Bindegewebe zu erleichtern und dadurch die Verankerung des Ringes zu fördern, perforierten wir ihn mit einem dünnen Bohrer.

Konstruktion I/2

Das Gestell wurde aus Metall gegossen, die Drahtbögen angelötet.

Zunächst wurde dem gewünschten Lumen von 12 und 15 mm entsprechend ein Zylinder aus einer zahntechnischen Einbettmasse gegossen, um den herum sich der Wachring von 1,5 mm Dicke in der Gestalt des zukünftigen Metallringes modellieren ließ. Diesen versahen wir mit wächsernen Gußstiften und umhüllten beides, Wachsmo-
dell und die zylindrische Form, mit Einbettmasse. Nach rückstandlosem Ausbrennen des Wachses erhielt man eine Hohlform mit Gußkanälen.

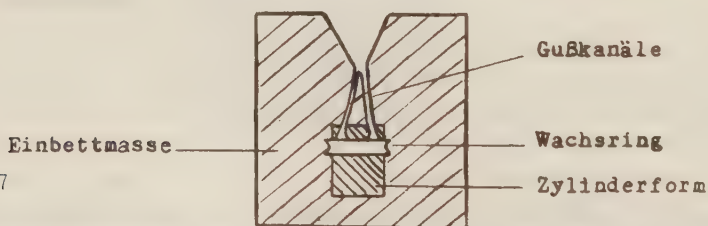


Abb. 7

In diese Hohlform wurde das mittels Acetylen-Sauerstofflamme verflüssigte Metall — eine zahntechnische Chromkobalt-Molybdän-Legierung — unter hohem Druck (Fliehkraft) in einer Zentrifugalschleuder mit offenem Schamottetiegel der Firma Herbst (Bremer Goldschlägerei) hineingeschleudert. Nach Erstarren des Metalls zerstörten wir die Form und erhielten den Gußrohling. Die nun metallenen "Gußkanäle" wurden abgetrennt und das Gußstück im Sandstrahlgebläse gereinigt. Anschließend wurde es mit Karborundsteinen ausgearbeitet und mit Gummischeiben und Filzkegeln poliert. Die zur Fixation der excidierten Klappe notwendigen Stege wurden wieder aus Stahl-

draht gebogen, am perforierten Ring zunächst im Punktschweißverfahren angeheftet, um sie in situ zu halten und dann hart verlötet. Nach der mechanischen Politur erhielt das Gestell im elektrolytischen Glanzbad seinen Hochglanz. Die so behandelten Oberflächen sind spannungsfrei und widerstandsfähig gegen Korrosion (T. Jung).

Konstruktion I/3

Rahmen aus einem Metallgitter.

Hierzu machten wir uns ein vorgefertigtes Wachsgitter aus 0,6 mm starkem Wachsdraht nutzbar, aus dem wir nach bereits geschilderter Methode der Konstruktion I/2 einen Ring mit dem lichten Durchmesser von 15 mm formten. An diesen Ring setzten wir nun aus gleichem Material statt der Drahtschlaufen 7 mm hohe Wachsstege rechtwinklig an.

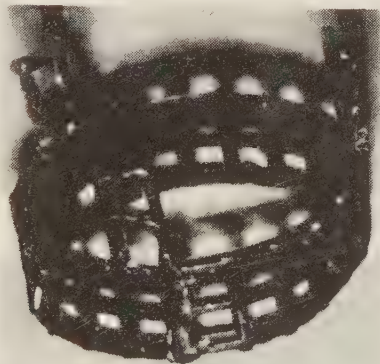


Abb. 8

Im gleichen Verfahren wie bei der vorigen Konstruktion wurde dieses Gestell aus Cr-Co-Mo gegossen und ausgearbeitet.

Konstruktion II/4

Metallring mit Drahtbögen.

Nach der oben bereits beschriebenen Methode wurde ein Metallring gegossen mit 15 mm lichte Durchmesser, 1 mm Randstärke und 6 mm Höhe.

An diesen Ring wurden nun etwas ausladende, 0,7 mm starke Drahtschlaufen gelötet. Diese Schlaufen gehen dort, wo sie am Ring fixiert sind, sofort bogenförmig in die nächste Schlaufe über. Auch dieser Rahmen wurde im Glanzbad gegläntzt und poliert.

Abb. 9



Konstruktion II/5

Endlose Drahtbögen ohne Ring.

Mit einer besonders graziilen Dreibeinzange (nach Aderer) wurden aus dem gleichen Draht, aber 1 mm stark die Schlaufen gebogen. Dabei wurden die Bogenlänge und der Bogendurchmesser anhand der Palakosausgüsse eines Aortenkonus dimensioniert. Die Schlaufenenden wurden miteinander verlötet.



Abb. 10 u. 11

Die abgesäuerte Lotstelle wurde so ausgearbeitet, daß kein Übergang feststellbar war. Der basale Ring wurde hier ganz fortgelassen.



Abb. 12

VIII) Erfahrungen bei der Implantation der aufgespannten Aortenklappe an die pulmonale Position.

A) Typ I: Basaler Ring mit drei aufsteigenden Drahtschlaufen.

Die erste Konstruktion, deren basaler Ring aus Kunststoff bestand, in den die drei Drahtschlaufen eingebettet waren, wurde nicht im Tierversuch benutzt. Schon bei der Vorprüfung lösten sich die Stahldrahtschlaufen bei geringen Wackelbewegungen aus ihrer Verankerung. Auch schien die Wandstärke des Kunststoffringes unnötig groß zu sein, wodurch die pulmonale Strombahn eingeengt worden wäre.

Die zweite Konstruktion war mit der ersten hinsichtlich der Form identisch, doch bestand der graziler gearbeitete Ring aus Metall, an dem die Drahtschlaufen durch Verlötung befestigt worden waren.

Dies Gestell wurde mit einer vorher angenähten Aortenklappe so in die Pulmonalarterie eingeschoben, daß sich der Metallring in der Höhe des Pulmonalklappenringes befand. In dieser Position wurde der Ring, der an seiner äußeren Zirkumferenz eine seichte Kehle aufwies, durch eine zirkuläre Naht (Tabaksbeutelnaht) befestigt. Die drei Drahtschlingen, an denen die Kommissuren angeheftet worden waren, wurden mit je einer Seidennaht an der Wand der Pulmonalarterie angenäht. Damit war die Implantation beendet. Für die Implantation wurden etwa 15 Minuten benötigt. Der Erfolg der Implantation war aus verschiedenen Gründen unbefriedigend :

1. Durch den Ring selbst, dessen Dicke immer noch 1,5 mm betrug, und durch die darin eingenähte Aortenklappe ging ein nicht unerheblicher Teil des Lumens der pulmonalen Strombahn verloren. Es wurde also eine Stenose erzeugt.

2. Der Ring blieb nicht in der normalen Ebene der Pulmonalklappen. Er verkantete sich und stellte sich sagittal zur Pulmonalklappenebene. Dies kam dadurch zustande, daß die drei Drahtschlaufen in die Pulmonalarterie hineinragten.

Der Abgang der Pulmonalarterie erfolgt nicht wie bei der Aorta weitgehend senkrecht aus dem dazugehörigen Ventrikel, sondern in einem stumpfen Winkel von etwa 120° nach dorsal.

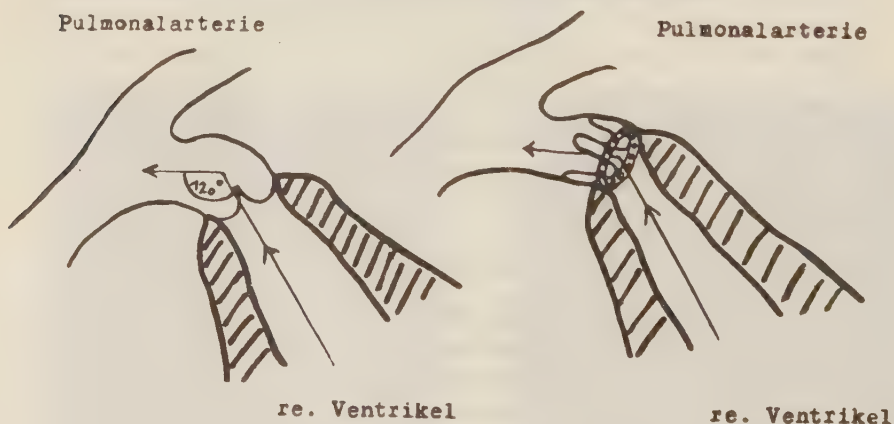
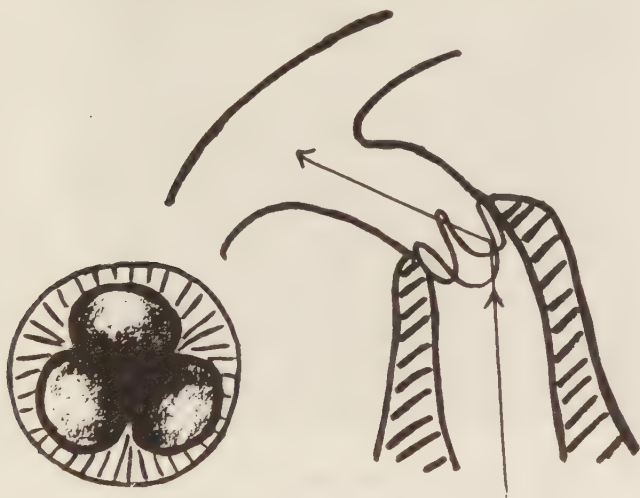


Abb. 13

Der Zentralstrahl des Blutstromes trifft normalerweise die Wand der Pulmonalarterie etwa 1 cm distal des Pulmonalklappenringes. Hier wölbt sich der anteriore Sinus Valsalvae bei jeder Systole vor. Das ist regelmäßig zu beobachten. Bei der Systole befindet sich die Klappenebene der Pulmonalklappe fast senkrecht zu diesem Zentralstrahl, der gleichzeitig etwa der Achse der rechten Ausflußbahn entspricht.



**Einblick v. d. re.
Ausflußbahn**

**Schnitt durch die re.
Ausflußbahn**

Abb. 14

Der Klappenring bietet damit den funktionell größten Durchmesser für den Durchfluß des Blutes. Erst nach seinem Durchtritt durch den Pulmonalklappenring wird der Blutstrom dann in Richtung der Pulmonalarterie umgelenkt. Nach der Implantation des prothetischen Rahmens wurde die Lage des Ringes und der daran befestigten homologen Aortenklappe in erster Linie von dem Verlauf der Pulmonalarterie bestimmt, in deren Rohr die Drahtschlaufen hineingeschoben worden waren. Der Ring stand also **n i c h t** senkrecht zur Achse der rechten Ausflußbahn, sondern sagittal. Zusätzlich zu der Tatsache, daß der Ring selbst mit der darin befestigten Pulmonalklappe schon ein Hindernis bildete, wurde durch die Verkantung des Metallringes der funktionelle Durchmesser weiter verkleinert. Die

Implantation der Aortenklappe mit Hilfe des beschriebenen Metallrahmens wirkte sich somit als Behinderung des Blutstromes, als Stenose aus.

Nach der Implantation eines derartigen Rahmens mit Klappe wurde ein Druckgradient von 15 bis 25 mm Hg über der Pulmonalklappe gemessen.

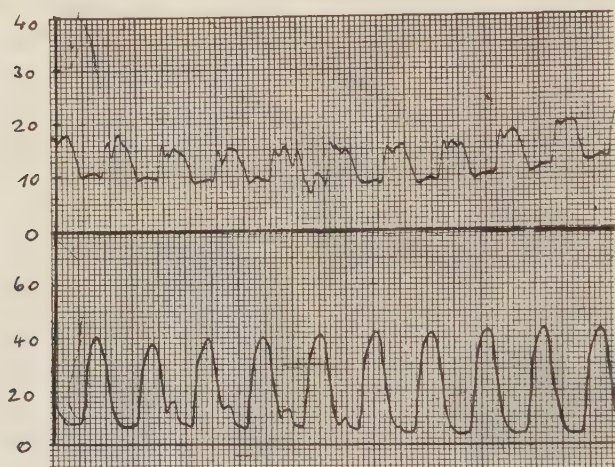


Abb. 15

P.A. 20/14; re. V. 44/4

Gradient : 24 über der Pulmonalklappe

Die Tiere waren sofort nach der Implantation, mit einer Ausnahme, schon nicht in der Lage, ohne Arterenolinfusion einen ausreichenden Blutdruck aufzubauen. Sie starben im Kreislaufkollaps und zeigten bei der Sektion eine Erweiterung des rechten Herzens.

Tabelle 1

Versuch Nr.	Gewicht d. Hundes	Dat. u. Prothesentyp	Überlebens- zeit i. Std.	Todesursache u. Sektionsbefund
1	21 kg	19. 12. 63 Typ I/2	20, 5	undichte Naht 1200 ccm Blut im Thorax. Rechtsherz- dilatation
2	25 kg	13. 1. 64 I/2	7	Rechtsherzdilatation
3	20 kg	20. 1. 64 I/2	2	Rechtsherzdilatation. Ohne Arterienol kein Blutdruck
4	21 kg	27. 1. 64 I/3	12	Kreislaufversagen Schockzustand
5	20 kg	3. 2. 64 I/3	5, 75	Herzinfarkt über dem ganzen re. Ventrikel
6	23 kg	10. 2. 64 II/4	30	Doppelseitige Lun- genatelektase, Kreis- laufversagen
7	19 kg	24. 2. 64 II/5	48	Blutung i. d. Thorax- höhle, Kreislaufver- sagen, re. Herz zu weit
8	19 kg	9. 3. 64 II/5	72	Rechtsherzdilatation, Prothese zugezogen
9	25 kg	29. 3. 64 II/5	26	Keine wesentliche Rechtsherzdilatation. Akuter Kreislaufzu- sammenbruch

B) Typ II : Form mit dem wesentlichsten Konstruktionsmerkmal der drei Drahtbögen zum Aufspannen der Sinus Valsalvae.

Die vierte Konstruktion bestand aus einem Metallgußring, an welchem die drei Spannbögen befestigt worden waren. Diese Konstruktion wurde zweimal implantiert. Dabei wurde der Ring in die Arteria Pulmonalis eingeschoben. Die drei Spannbögen, über welche die homologen Klappentransplantate hinübergestülpt und mit mehreren fortlaufenden Seidennähten befestigt worden waren, wurden etwa in die Position der Ansätze der excidierten Pulmonalisklappen eingestellt und dort mit mehreren Einzelnähten fixiert. Der Implantationsvorgang benötigte nur 10 bis 15 Minuten. Die Stellung der implantierten Klappen schien recht günstig zu sein. Allerdings richtete sich der Metallring in der Pulmonalarterie auf, da er durch die Spannbögen im Verlauf der Längsachse der Ausflußbahn des rechten Ventrikels eingestellt wurde und wölbte die Vorderwand der Pulmonalarterie vor. Dadurch stellte auch dieser Ring, von dem man sich eine Aufsperrung der Pulmonalarterie versprochen hatte, eine gewisse Strömungsbehinderung dar. Bei der Druckmessung fand sich bei beiden Versuchen ein Druckgradient unter 5 mm Hg über der implantierten Pulmonalklappe. Beide Tiere überlebten die Operation um mehr als 24 Stunden, als Zeichen der Funktionsverbesserung, die mit dieser Konstruktion der ersten Form (1-3) erreicht werden konnte.

Die fünfte Konstruktion verfügte über dieselben drei Spannbögen, doch wurde der Metallring fortgelassen. Die Prothese bestand nur noch aus einem fortlaufenden, End zu End verlöteten Draht, der drei Bögen zum Aufspannen der Sinus Valsalvae bildete. Die zurücklaufenden Arme stellten die Stege zum Befestigen der Ansatzlinien der Kommissuren dar.



Abb. 16

Dieser Drahttring paßte sich jetzt ausgezeichnet mit den daran befestigten Homologen Aortenklappen den Sinus der Pulmonalarterie an, wenn die Größenverhältnisse der implantierten Klappe und der excidierten Pulmonalklappe in etwa stimmten. Wiederum wurden nur die Bögen am Myocard der rechten Ausflußbahn befestigt. Die Implantation machte keinerlei technische Schwierigkeiten. Drei Tierversuche wurden mit diesem Klappentyp ausgeführt. Unmittelbar nach der Transplantation bestand ein Druckgradient von weniger als 5 mm Hg über der transplantierten Klappe.

Die Tiere erholten sich alle drei nach der Operation ziemlich rasch. Ein Tier lebte zwei, eines drei Tage und das letzte allerdings auch nicht länger als einen Tag. Dabei war auffällig, daß die Tiere nach offensichtlichem Wohlbefinden schließlich innerhalb von 2 bis 3 Stunden unaufhaltsam in einen Kreislaufkollaps gerieten, der auch nicht mit Transfusionen zu beherrschen war. Wir vermuteten regelmäßig eine Nachblutung, konnten diesen Verdacht aber niemals bestätigen. Es fand sich bei der Autopsie eine erhebliche Anschoppung vor dem rechten Herzen. Wieder war die rechte Kammer dilatiert. Der Pulmonalring, in welchen die homologe Aortenklappe mit dem prothetischen Rahmen eingesetzt worden war, war bei allen Hunden recht eng, bedeutend enger, als es bei der Implantation den Anschein gehabt hatte. Bei der Kontrolle des Drahtgestelles stellten wir fest, daß es sich jeweils zusammengezogen hatte. Dadurch war die rechte Ausflußbahn wesentlich verengt worden. Diese zunehmende Stenose hatte schließlich zum Rechtsherzversagen geführt.

IX) Diskussion

Die Aufgabe der Untersuchung bestand darin, nach einer Vereinfachung der Operationstechnik bei der Semilunarklappentransplantation beim Hund zu suchen, die vor allem die Operationszeit verkürzte. Um diese Aufgabe zu lösen, wurde die Vorstellung entwickelt, das man die zu transplantierende Klappe schon vor der Operation am Hund in einem "Gestell" befestigt und darauf die Klappe mit dem Gestell wie eine Prothese mit geringen Schwierigkeiten und wenig Situationsnähten fixiert. Für die Gewinnung eines Semilunarklappentransplantates eignete sich die Technik von Gunning der Präparation der Aortenklappe des Hundes gut und wurde daher für alle Versuche angewendet. Da die Übertragung des Transplantates an

die normale Position an der Aortenklappe beim Hund große technische Schwierigkeiten sowohl des Zuganges als auch durch die erforderliche Koronarperfusion bietet, wurde als Ort der Transplantation die Pulmonalkappenposition benutzt.

Für das Gestell, im Text jeweils als prothetischer Rahmen bezeichnet, wurden zwei unterschiedliche Typen entwickelt. Der erste bestand aus einem gekehlten Ring, weil man glaubte, gerade mit Hilfe eines solchen Ringes den Akt der Implantation besonders vereinfachen zu können. Die Klappe mit ihrem Rahmen sollte möglichst nur mit *e i n e r* zirkulären Naht befestigt werden. Die Kunststoffkonstruktion (Typ I/1) war mechanisch nicht haltbar. Nur die beiden Stahlkonstruktionen wurden daher im Tierversuch geprüft. Dabei stellten sich die grundsätzlichen Nachteile dieser ersten Form heraus, die darin bestanden, daß diese Form den anatomischen Verhältnissen nicht gerecht wurden. Die Gestelle mit den darin befestigten Klappen paßten sich nicht harmonisch ein. Sie bildeten ein Hindernis für den Blutstrom und wirkten als Stenose mit einem meßbaren Druckgradienten von 15 bis 25 mm Hg. Bei der Befestigung des Klappentransplantates zeigten sich ebenfalls gewisse Schwierigkeiten, weil der Ring eine natürliche Spannung der normalerweise in die drei Sinus Valsalvae hineinziehenden Semilunarklappen nicht ermöglichte.

Die zweite Form des Gestells wurde den anatomischen Verhältnissen besser gerecht. Sowohl die Befestigung der Transplantate als auch die Implantation selbst wurden leichter. Besonders die zweite Konstruktion des zweiten Typs (Konstruktion 5) paßte sich gut ein. Die Befestigung des Transplantates mit seinem Rahmen erfolgte durch einige Einzelnähte an den Bögen des Gestells. Die Implantationszeit war immer noch wesentlich kürzer, als wenn die Klappen ohne einen entsprechenden Rahmen hätten eingenäht werden müssen.

Die Ergebnisse der Tierversuche zeigten die Verbesserung der Konstruktion deutlich. Die Überlebenszeiten waren in der zweiten Serie länger. Allerdings zeigte auch die fünfte Konstruktion den Nachteil, daß sie aus zu weichem Drahtmaterial angefertigt war. Durch die Herzaktion wurde das Gestell im Laufe von 24 Stunden bis 3 Tagen regelmäßig zusammengezogen und es entstand schließlich auch eine Stenose der pulmonalen Ausflußbahn. Studien von J.C. Davila über die Bewegungsvorgänge an den verschiedenen Elementen des Aortenkonus wie des Aortenringes der Sinus Valsalvae, der Aortenklappen und der Wand des proximalen Aortenrohres, deren zeichnerische Wiedergabe in der Abbildung 17 erfolgt, zeigen, daß die vom Myokard umschlossenen Sinus Valsalvae während der Systole bei der Aus-

treibung des Blutes aus dem linken Ventrikel gewissermaßen "herabgezogen" werden. Sie werden aus der zur Austreibungsachse mehr horizontalen Lage in eine mehr vertikale Lage gebracht, weil sich der zur linken Ausflußbahn gehörige muskuläre Ring, der sie umschließt, bei der Systole verengt, und sich der ganze Ventrikel verkürzt.

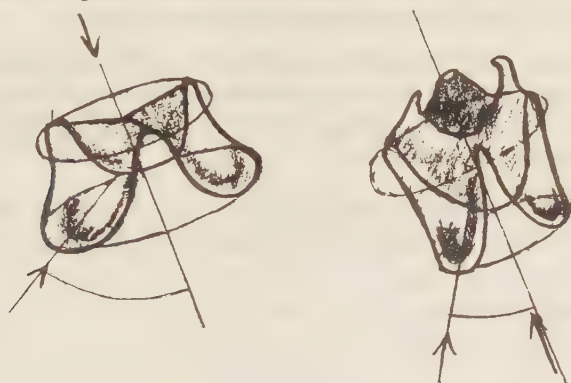


Abb. 17

Ein ähnlicher Mechanismus kann mit Recht auch an dem Pulmonalkonus vermutet werden. Gerade diese Bewegung ist aber geeignet, den Draht-ring der letzten Konstruktion während der Systole zusammenzuziehen wenn das Material nicht stabil genug ist. Da der verbogene Spannring am Ende der Systole während der Erschlaffung des Myokards seinerseits nicht in die Ausgangslage zurückkehren kann, entstand eine allmählich zunehmende Verengung der pulmonalen Ausflußbahn.

Die letzte Form des Typs II erlaubte die angestrebte Verkürzung der Implantationszeit von ca. 40 Minuten auf ungefähr 12 Minuten. Die Form wurde den anatomischen und funktionellen Verhältnissen der pulmonalen Ausflußbahn gerecht.

X) Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird über die Herstellung mehrerer prothetischer Rahmen berichtet, welche die Semilunarklappentransplantation beim Hund erleichtern und die Implantationszeit verkürzen sollen.

Es wurden zwei Rahmentypen mit verschiedenen Abwandlungen hergestellt und im Tierversuch geprüft. Die günstigsten Verhältnisse bot ein aus drei Spannbögen bestehender, endloser Draht, an dem die Klappe vor der Implantation befestigt wurde.

Als Materialien wurden Kunststoffe und Metalle verwendet, deren Gewebsverträglichkeit aus der Zahnheilkunde bereits bekannt war.

- 1) Barret-Boyes, B. G.: Surgical Correction of mitral incompetence from bacterial endocarditis
Brit. Heart J. 25 415 (1963)
- 2) Davila, J. C., Trout, R. G., Sunner, J. E., and Glover, R. P.: A simple mechanical pulse duplicator for cinematography of cardiac valves in action
Ann. Surg., 143 544 (1956)
- 3) Elbrecht, H. J.: Chrom-Nickelstähle u. Kobalt-Chrom-Legierungen
in : Leitf. zahnärztl. Werkstoffe u. ihrer Verabtg.
Berlinische Verlagsanstalt (1960)
- 4) Hirsch, H. H. u. Hanke, H.: Über das Verhalten äthylenoxydsterilisiertem, homologen Aortengewebe in der Blutbahn
Langenbecks Arch. f. klin. Chir. (1964)
- 5) Hufnagel, C. A., Harvey, W. P., Rabil, P. J. and McDermott, R. F.: Surgical correction of aortic insufficiency
Surgery, 35 673 (1954)
- 6) Jung, T.: Schleif- u. Poliermittel
in : Leif. zahnärztl. Werkstoffe u. ihrer Verabtg.
Berlinische Verlagsanstalt (1960)
- 7) Knischewski, F.: Repetit. d. Werkstoffkundl. Grundlg. d. Zahnprothetik. Teil II Nichtmetall. Werkst.
Verlag Neuer Merkur Köln (1959)
- 8) Knischewski, F.: Repetit. d. Werkstoffkundl. Grundl. d. Zahnprothetik. Teil I Metalle d. Zahntechn.
Verlag Neuer Merkur Köln (1959)
- 9) Lam, C. R., Aram, H. H., An experimental study of aortic valve and Munnel, E. R.: homegrafts
Ibid. 94 129 (1952)
- 10) Lillehei, C. W., Banard, C. N., Long, D. M., Aortic valve reconstruction and replacement by total valve prosthesis
Sellers, R. D., Schimert, G., Varco, R. L.: in : Prosthetic valves for cardiac surgery
Springfield 1961 S. 527
- 11) Magovern, G.: Diskussionsbemerkung in : Prosthetic valves for cardiac surgery
Springfield 1961 S. 227

- 12) Murray, G.: Homologous aortic valve segment transplants as surgical treatment for aortic and mitral insufficiency
Angiology 7 466 (1956)
- 13) Ross, D.N.: Homograft replacement of the aortic valve
Lancet 1962 II, 487
- 14) Schmidt, A.: Chemie der Kunststoffe
in : Leitf. zahnärztl. Werkstoffe u. ihrer Verarbtg.
Berlinische Verlagsanstalt (1960)
- 15) Starr, A., and Edwards, M.L.: J. Thorac. cardiovasc. Surg.
42 673 (1961)
- 16) Starr, A., and Edwards, M.L.: Mitral replacement : clinical experience with a ball valve prosthesis
Ann. Surg. 154 736 (1961)

An dieser Stelle möchte ich Herrn Priv. Doz. Dr. Hirsch herzlich danken für die Überlassung des Themas, so wie für seine freundliche Hilfsbereitschaft, die mir die Durchführung meiner Arbeit ermöglichte.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr. v. Reckow, Herrn Prof. Dr. Kuck und Herrn Zahntechnikermeister Hermanns, die mir die technischen Einrichtungen des Laboratoriums des Zahnärztlichen Universitätsinstitutes Carolinum zur Verfügung stellten.

Am 21. März 1935 wurde ich, Klaus Helge Bähren, als Sohn des Dipl. Volkswirt Dr. Erich Bähren und seiner Ehefrau Dely Bähren, geb. Lay, in Hamburg geboren.

In Erfurt wurde ich 1941 eingeschult, siedelte 1946 nach Ferndorf/Westf. um und bestand 1948 die Aufnahmeprüfung in die Sexta des Fürst Johann Moritz Gymnasiums zu Weidenau/Sieg.

1954 verzog ich mit meinen Eltern nach Kiel und legte dort 1957 die Reifeprüfung am Humboldt-gymnasium ab. Im gleichen Jahr begann ich an der Christian-Albrecht Universität zu Kiel mein zahnmedizinisches Studium und bestand die Vorprüfung dort 1960.

Während des Sommersemesters 1961 studierte ich in Würzburg an der Julius Maximilians Universität.

Im Wintersemester 1961/62 führte ich mein Studium an der Johann Wolfgang Goethe Universität zu Frankfurt fort und beendete es dort im Juli 1963 mit dem zahnmedizinischen Staatsexamen.

Seit September 1963 bin ich als Assistenz-zahnarzt in der prthetischen Abteilung des Zahnärztlichen Universitätsinstitutes Carolinum tätig.

Artelt	Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Dr. phil.
Bargmann	Prof. Dr. med.
Beck	Prof. Dr. med. Dr. med. dent.
Grewe	Prof. Dr. phil.
Hallermann	Prof. Dr. med.
Haunfelder	Prof. Dr. med. Dr. med. dent.
Hauser	Prof. Dr. med. Dr. med. dent.
Hammer	Prof. Dr. med. Dr. med. dent.
Herrmann	Prof. Dr. med.
Hirsch	Priv. Doz. Dr. med.
Horstmann	Prof. Dr. med.
Juza	Prof. Dr. rer. techn.
Jürgens	Prof. Dr. med.
Kleinfeller	Prof. Dr. phil.
Kleinschmidt	Prof. Dr. med.
Koller	Dr. med. dent.
Kreter	Priv. Doz. Dr. med. Dr. med. dent.
Kuck	Prof. Dr. med. dent.
Kuschke	Priv. Doz. Dr. med.
Lapp	Prof. Dr. med.
Lochte-Holtgreven	Prof. Dr. phil.
Luff	Prof. Dr. med.
Lullies	Prof. Dr. med.
Martin	Prof. Dr. med.
Mollowitz	Priv. Doz. Dr. med.
Netter	Prof. Dr. med.
v. Reckow	Prof. Dr. med. dent.
Remane	Prof. Dr. phil.
Rethmann	Prof. Dr. med. Dr. med. dent.
Ristow	Priv. Doz. Dr. med.
Schiebler	Prof. Dr. med.
Schlampp	Prof. Dr. med. Dr. med. dent.
Schümann	Prof. Dr. med.
Spreter v. Kreudenstein	Prof. Dr. med. Dr. med. dent.
Steigleder	Prof. Dr. med.
Steinhardt	Prof. Dr. med. Dr. med. dent.
Stüben	Prof. Dr. med. dent.
Uhlig	Prof. Dr. med. dent.
Westermann E.	Prof. Dr. med.
Weber	Prof. Dr. med.
Windecker	Priv. Doz. Dr. med. dent.
Zimmermann	Prof. Dr. med.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, daß ich die der Medizinischen Fakultät Frankfurt/M. zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel :

"Versuche zur Vereinfachung der homologen Semilunarklappentransplantation beim Hund mit Hilfe eines prothetischen Metallrahmens"

in der Chirurgischen Universitätsklinik Frankfurt/M. unter Leitung von Herrn Priv. Doz. Dr. med. Hirsch ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keiner in- und ausländischen Medizinischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht noch die vorliegende Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Frankfurt/M., den 6.4.1965

Helge Bähren

